

硼素营养对魔芋品质及几种酶活性的影响

牛 义 王启军 张盛林 王志敏*

(南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆高校魔芋资源利用工程研究中心, 重庆市蔬菜学重点实验室, 西南大学园艺园林学院, 重庆 400715)

摘 要: 以白魔芋为试材, 采用盆栽的方法, 研究了 6 个硼素浓度处理对魔芋的葡甘聚糖、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质含量和 SOD、POD、PPO 活性以及 MDA 含量的影响。结果表明: 硼素营养与魔芋品质及几种酶活性有密切的关系, 适宜的硼素浓度能有效地提高魔芋葡甘聚糖、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质含量; 增加 POD、SOD 活性, 降低 MDA 含量、PPO 活性, 其中以 $0.25 \sim 0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硼素浓度效果最佳。魔芋“换头”后, B2 ($0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、B3 ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 处理的魔芋葡甘聚糖、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质含量和 POD、SOD、PPO 活性以及 MDA 含量与其他处理存在明显差异, 说明适宜的硼素浓度可以改善魔芋的品质, 抑制膜脂过氧化作用。

关键词: 魔芋; 硼素营养; 品质; 酶活性

中图分类号: S632.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2011) 20-0063-06

Effect of Boron Nutrition on Quality and Enzyme Activity of *Amorphophallus*

NIU Yi, WANG Qi-jun, ZHANG Sheng-lin, WANG Zhi-min*

(Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Konjac Resource Utilization Engineering Research Center in Chongqing Colleges and Universities, Key Laboratory in Olericulture of Chongqing, College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Pot-cultured experiments were carried out to study the effects of boron nutrition on dissolubility sugar, konjac glucomannan, starch, protein, superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO) activity and malondialdehyde (MDA) of *Amorphophallus*. The results showed that there was a close relationship between B nutrition and quality, as well as several enzyme activities of *Amorphophallus*. Suitable boron concentrations could increase contents of dissolubility sugar, konjac glucomannan, starch, soluble protein, activities of SOD and POD, decrease content of malondialdehyde and PPO activity. $0.25\text{--}0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ are best in 6 treatments. After the old replaced by the new, there are extremely obviously difference between dissolubility sugar, konjac glucomannan, starch, soluble protein, MDA, activities of SOD and POD of treatment B2, B3 and that of other treatment. This indicated that suitable boron concentrations could change quality of *Amorphophallus* and inhibit membrane lipid peroxidation.

Key words: *Amorphophallus*; Boron nutrition; Quality; Enzyme activity

收稿日期: 2011-05-04; 接受日期: 2011-06-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (XDJK2009C129), 西南大学博士科研启动基金资助 (SWU110011)

作者简介: 牛义, 男, 博士, 助理研究员, 专业方向: 蔬菜遗传育种与生物技术, E-mail: niuy2001134@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 王志敏, 女, 博士, 副教授, 专业方向: 蔬菜遗传育种与生物技术, E-mail: minznwang_555@163.com

魔芋 (*Amorphophallus*) 是天南星科魔芋属的多年生草本植物。魔芋球茎中富含葡甘聚糖 (Konjac glucomannan, KGM), 它是一种水溶性的膳食纤维, 也是一种理想的低热、低脂肪物质, 具有防癌、防肥胖、降血脂、降血糖、抗衰老的特殊功效, 同时, KGM 具有良好的亲水性、胶凝性、增稠性、粘结性、可逆性、成膜性等 (刘佩瑛, 2004), 故在医药、纺织、印染以及化工等行业有广阔的应用前景。因此, 如何提高魔芋品质, 生产出高品质的魔芋已日益受到人们的关注。硼是植物必需的六大微量元素之一, 尽管高等植物对硼的需求量很小, 但其对养分平衡、促进细胞壁的形成、糖类运输、核酸和蛋白质的合成、生理代谢以及一些酶的活性起着不可替代的作用 (牛义和张盛林, 2003; 石磊和徐芳森, 2007)。有关硼素营养的研究在其他作物上已有许多报道 (王晓云和程炳篙, 1994; 李军 等, 2002; 师进霖 等, 2007; 贾景丽 等, 2009; 李淑仪 等, 2010; 张志华 等, 2010), 并且获得了良好的增产效果和经济效益, 但在魔芋方面的研究鲜有报道。魔芋生长所需的生态环境与烟草极其相近, 重庆市植烟区的土壤普遍存在酸、瘦、缺乏微量元素等问题, 其中土壤缺硼尤为突出 (如黔江、酉阳、彭水、武隆、南川、綦江、石柱等地), 严重影响了重庆烟叶的产量和质量 (张薇 等, 2006; 秦建成, 2009)。生产中, 笔者也观察到魔芋种植区出现一些缺素现象, 但是否由于缺硼造成的, 目前不是很清楚。为此, 本试验通过研究不同硼素浓度对魔芋品质指标与酶活性变化的影响, 明确硼元素与魔芋品质和酶活性变化的关系, 为魔芋生产中通过合理施用硼肥来提高魔芋品质、产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010 年 3~10 月在南方山地园艺学教育部重点实验室试验农场的温网室内进行。供试材料为白魔芋 (*Amorphophallus albus* Liu et Chen), 选球茎大小基本一致, 质量为 52~56 g, 平均为 54 g。本试验中, 种芋为播种时的魔芋球茎; 新芋为换头后新长出的魔芋球茎, 但不成熟; 商品芋为收获时的魔芋, 即可以出售并加工的魔芋, 一般质量在 100 g 以上。

1.2 试验方法

2010 年 3 月 20 日选种芋开始催芽, 出芽后 (约 4 月 5 日) 移栽到花盆中, 每盆 4 株, 4 次重复。基质采用珍珠岩: 蛭石=2 V: 1 V, 3 d 浇一次蒸馏水, 7 d 浇一次营养液, 每个处理浇 2.8 L。开叶后进行遮阴, 常规管理。营养液采用 Hongland 和 Arnon 配方。经过 2008~2009 年的预备试验以及硼素营养相关研究的结果 (薛建明 等, 1995; 杨暹 等, 2000; 祁寒 等, 2009; 韦海忠 等, 2010; 张志华 等, 2010), 特别是薯芋类作物的硼素营养研究方面的报道 (孟凡华 等, 1995; 贾景丽 等, 2009), 确定了本试验的 6 个硼素浓度处理 (表 1): 处理 1 (B1), 营养液中含硼 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 作对照; 处理 2 (B2), 营养液中含硼 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。处理 3 (B3), 营养液中含硼 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 处理 4 (B4), 营养液中含硼 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 处理 5 (B5), 营养液中含硼 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 处理 6 (B6), 营养液中含硼 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。从 5 月 15 日开始破坏性取样测定 (各个处理每次取 1 株, 取魔芋球茎), 每隔 30 d 测定 1 次, 共测定 5 次 (薛建明 等, 1995)。

1.3 测定项目

葡甘聚糖含量的测定采用 3,5-二硝基水杨酸法 (刘佩瑛, 2004)。可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法; 可溶性糖含量的测定采用蒽酮法; 淀粉含量的测定采用蒽酮显色反应法; 过氧化物酶 (POD) 活性的测定采用愈创木酚法, 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定采用 NBT 法, 丙二醛 (MDA) 含量测定采用硫代巴比妥酸法, 参照《植物生理生化实验原理和技术》(李合生, 2001) 与《逆境生理学试验指导》(睢薇, 2004)。多酚氧化酶 (PPO) 活性的测定采用分光光度法。具体步骤: ①粗酶液的提取。将采集的白魔芋球茎放入 4℃ 冰箱中预

冷 30 min 后, 取出洗净、去皮, 称取 3 g 加入 2.5 mL 磷酸盐缓冲液 ($0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pH 5.5), 于冰浴中研磨后 4°C 下离心 20 min ($12\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$), 吸出上清液后, 再加入 2.5 mL 磷酸盐缓冲液重复离心, 合并两次上清液于 5 mL 容量瓶中, 用磷酸盐缓冲液定容, 即得粗酶液。②PPO 活性的测定。取 2 只试管, 分别加入 1.9 mL 磷酸缓冲液与 1 mL 儿茶酚溶液 ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), 37°C 下保温 10 min 后加入 1 mL 粗酶液 (空白调零为 1 mL 磷酸缓冲液代替粗酶液), 迅速混匀, 立即于 410 nm 下测定反应体系的 A 值, 每隔 30 s 记录 1 次, 共记录 5 次。PPO 活性单位 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), 每分钟 A 值改变 0.001 定义为 1 个酶活力单位。所有指标均测定 3 次, 取平均值。

1.4 数据处理

试验数据采用 DPS 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同硼素浓度处理对魔芋品质的影响

葡甘聚糖、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质是魔芋中的主要贮藏物质, 也是魔芋产量形成的主要成分, 特别是葡甘聚糖含量的多少可反映魔芋品质的优劣。从表 1 看出, 白魔芋在生长期 (60~90 d), 种芋的葡甘聚糖含量随生长而迅速下降。在 90~120 d 期间 (7~8 月), 此期是“换头”期, 魔芋生长正处于“新老交替”的时候, 这时魔芋的种芋和新芋共存。新芋的葡甘聚糖含量在形成初期很低, “换头”后开始急剧增加, 150 d 时达到最高峰, 之后略有下降。白魔芋种芋在“换头”前各个处理的变化趋势大体相同, “换头”后 B2、B3 处理的葡甘聚糖含量明显高于其他处理, 最高值为 B2 处理, 达到 51.36%。挖收时 (180 d), B2 处理的葡甘聚糖含量最高, 为 51.16%。方差分析与多重比较的结果表明, “换头”后, B2、B3 处理与其他处理均存在显著差异, 这表明不同的硼素浓度对魔芋葡甘聚糖含量的影响较大, 最有利于葡甘聚糖合成的硼素浓度范围为 $0.25 \sim 0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 1 不同硼素浓度处理下魔芋葡甘聚糖含量变化

处理	种芋葡甘聚糖含量/%			新芋葡甘聚糖含量/%		
	60 d	90 d	120 d	120 d	150 d	180 d
B1	$24.21 \pm 1.23 \text{ b}$	$9.84 \pm 1.21 \text{ d}$	$3.86 \pm 0.87 \text{ a}$	$7.24 \pm 0.68 \text{ d}$	$38.34 \pm 1.54 \text{ e}$	$37.95 \pm 1.38 \text{ e}$
B2	$25.93 \pm 0.92 \text{ a}$	$16.46 \pm 2.35 \text{ a}$	$3.13 \pm 0.68 \text{ c}$	$21.73 \pm 1.36 \text{ a}$	$51.36 \pm 1.86 \text{ a}$	$51.16 \pm 1.53 \text{ a}$
B3	$26.89 \pm 1.16 \text{ a}$	$15.64 \pm 1.64 \text{ a}$	$2.98 \pm 0.92 \text{ c}$	$20.18 \pm 1.66 \text{ ab}$	$50.65 \pm 1.52 \text{ a}$	$49.84 \pm 1.66 \text{ a}$
B4	$26.23 \pm 1.62 \text{ a}$	$14.16 \pm 1.24 \text{ b}$	$3.34 \pm 0.86 \text{ b}$	$18.71 \pm 1.74 \text{ b}$	$46.08 \pm 1.62 \text{ b}$	$45.74 \pm 1.38 \text{ b}$
B5	$25.68 \pm 1.38 \text{ a}$	$12.68 \pm 1.31 \text{ c}$	$2.28 \pm 0.66 \text{ d}$	$8.78 \pm 0.93 \text{ d}$	$43.16 \pm 1.73 \text{ c}$	$42.58 \pm 1.46 \text{ c}$
B6	$24.57 \pm 1.26 \text{ b}$	$10.64 \pm 1.45 \text{ d}$	$3.49 \pm 0.74 \text{ ab}$	$11.56 \pm 1.26 \text{ c}$	$41.07 \pm 1.58 \text{ d}$	$40.92 \pm 1.54 \text{ d}$

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$), 下表同。

从表 2 可知, 种芋在生长期 (60~90 d), 可溶性糖含量呈上升的趋势。“换头”后新芋的可溶性糖含量下降。挖收时 (180 d), B3 处理的可溶性糖含量较高, 为 7.28%, B1 处理的可溶性糖含量较低, 为 4.24%。方差分析与多重比较的结果表明, “换头”后, B3 处理与其他处理的可溶性糖含量差异显著。

由表 3 可知, 种芋栽培后 (60~90 d) 可溶性蛋白质含量逐渐增加, “换头”后, 随着生长天数的延长, 其可溶性蛋白质含量又呈减少的趋势。挖收时 (180 d), B2 处理的可溶性蛋白质含量较高, 为 9.34%, B6 处理的可溶性蛋白质含量较低, 为 5.34%。方差分析与多重比较的结果表明, “换头”后, 各处理间的白魔芋可溶性蛋白质含量变化存在差异, 其中 B2、B3、B4 处理与其他处理差异显著。

从表 4 可知, 白魔芋在生长期 (60~90 d), 种芋的淀粉含量呈降低趋势, 这与种芋的葡

甘聚糖含量变化趋势一致。在“换头”期,新芋相比种芋来说,各处理的淀粉含量明显增加,“换头”后,各个处理的新芋淀粉含量又下降。方差分析与多重比较的结果表明,“换头”后,B2 处理与其他处理间差异达到显著水平。

表 2 不同硼素浓度处理下魔芋可溶性糖含量变化

处理	种芋可溶性糖含量/%			新芋可溶性糖含量/%		
	60 d	90 d	120 d	120 d	150 d	180 d
B1	6.54 ± 0.05 b	7.62 ± 0.04 c	4.66 ± 0.05 e	7.04 ± 0.12 d	4.77 ± 0.05 e	4.24 ± 0.03 f
B2	7.13 ± 0.02 a	9.34 ± 0.06 a	5.92 ± 0.06 c	8.33 ± 0.17 ab	7.36 ± 0.13 b	6.43 ± 0.14 b
B3	6.81 ± 0.08 ab	9.27 ± 0.12 a	3.28 ± 0.07 f	8.76 ± 0.15 a	8.28 ± 0.09 a	7.28 ± 0.07 a
B4	6.26 ± 0.10 bc	7.04 ± 0.08 de	5.54 ± 0.10 d	7.71 ± 0.08 c	6.32 ± 0.10 c	5.61 ± 0.07 c
B5	6.47 ± 0.04 b	8.26 ± 0.03 b	7.23 ± 0.14 a	7.32 ± 0.14 cd	5.81 ± 0.04 d	4.73 ± 1.20 e
B6	5.92 ± 0.13 c	7.27 ± 0.07 d	6.38 ± 0.05 b	6.44 ± 0.04 e	5.73 ± 0.06 d	5.28 ± 0.04 d

表 3 不同硼素浓度处理下魔芋可溶性蛋白质含量变化

处理	种芋可溶性蛋白质含量/%			新芋可溶性蛋白质含量/%		
	60 d	90 d	120 d	120 d	150 d	180 d
B1	8.55 ± 0.07 a	9.14 ± 0.17 b	3.53 ± 0.01 b	8.02 ± 0.10 cd	7.28 ± 0.08 d	6.12 ± 0.02 d
B2	8.64 ± 0.02 a	10.32 ± 0.14 a	3.28 ± 0.02 b	11.60 ± 0.18 a	9.83 ± 0.13 a	9.34 ± 0.02 a
B3	8.57 ± 0.10 a	9.46 ± 0.20 b	4.12 ± 0.05 a	10.71 ± 0.09 a	9.74 ± 0.07 a	8.83 ± 0.01 ab
B4	7.84 ± 0.04 b	8.32 ± 0.06 c	2.94 ± 0.05 c	10.54 ± 0.07 b	9.14 ± 0.04 b	8.65 ± 0.12 b
B5	7.32 ± 0.12 c	7.93 ± 0.07 c	3.87 ± 0.14 ab	9.67 ± 0.16 bc	8.62 ± 0.05 bc	7.06 ± 0.07 c
B6	7.91 ± 0.08 b	6.58 ± 0.03 d	2.35 ± 0.09 d	8.72 ± 0.05 c	7.08 ± 0.05 e	5.34 ± 0.04 e

表 4 不同硼素浓度处理下魔芋淀粉含量变化

处理	种芋淀粉含量/%			新芋淀粉含量/%		
	60 d	90 d	120 d	120 d	150 d	180 d
B1	8.83 ± 0.10 a	7.25 ± 0.05 a	4.38 ± 0.07 a	8.59 ± 0.18 bc	7.46 ± 0.04 d	6.92 ± 0.24 d
B2	8.50 ± 0.04 ab	7.43 ± 0.07 a	2.12 ± 0.04 c	7.91 ± 0.22 c	9.82 ± 0.08 a	9.74 ± 0.18 a
B3	8.12 ± 0.03 b	7.64 ± 0.14 a	2.83 ± 0.05 b	9.48 ± 0.14 a	9.32 ± 0.06 b	8.50 ± 0.08 b
B4	7.51 ± 0.09 c	6.38 ± 0.12 b	2.31 ± 0.06 c	8.82 ± 0.17 b	9.38 ± 0.13 b	9.14 ± 0.14 b
B5	6.58 ± 0.02 de	4.04 ± 0.01 e	1.64 ± 0.01 d	8.90 ± 0.09 b	9.43 ± 0.20 b	8.79 ± 0.05 b
B6	7.64 ± 0.12 c	5.06 ± 0.03 d	2.92 ± 1.10 b	7.89 ± 0.07 c	8.14 ± 0.15 c	7.72 ± 0.03 c

2.2 不同硼素浓度处理对魔芋 SOD、POD、PPO 活性及 MDA 含量的影响

植物体内活性氧自由基积累必然会引起保护酶 SOD 和 POD 的活性变化,其中 SOD 能有效清除植物体内过剩的活性氧自由基以保护膜结构,而 POD 活性大小可间接反映植物的衰老趋势,植物体内活性氧自由基一般保持在一个较低的水平,当植物受到逆境胁迫时,这 2 种酶互相影响、协同作用,清除植物体内的活性氧自由基。由图 1 可看出,白魔芋整个生长期,在相同硼素浓度下,B1、B2、B3 和 B4 处理随着时间的延长,白魔芋 SOD 活性逐渐升高,随后又下降,而 B5 和 B6 处理呈现先降低再升高,然后再降低的趋势。从图 2 可看出,在相同硼素浓度下,随着时间的延长,白魔芋 POD 活性逐渐升高,随后又下降。在同一时间点,随着硼素浓度的增加,SOD、POD 活性大致呈现逐渐升高,随后又降低的态势。在开叶后生长 90~120 d 时,即“换头”期 SOD、POD 活性达到最大值。由图 3 可知,相同处理条件下,MDA 含量随着白魔芋的生长,呈现先降低后升高的趋势;在“换头”期,MDA 含量随着硼素浓度的增加(0.25~1.00 mg·L⁻¹),呈现先降低后增加又降低的趋势。在 120 d 时,B6 处理的 MDA 含量最高,B2 与 B3 处理最低。这表明,适当硼素浓度(0.25~0.50 mg·L⁻¹)能增强 POD、SOD 活性,缺硼或高硼浓度导致酶活性降低,清除自由基及过氧化物的能力减弱,膜脂过氧化作用加剧,直接表现为 MDA 含量增

加。从图 4 可看出, 在 B1 与 B6 处理的条件下, PPO 活性随着植株的生长一直呈现增加的趋势; 在“换头”期, B2 与 B3 处理的 PPO 活性最大, 而在后期又最小, 分别为 $11.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} (\text{FW})$ 与 $11.2 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} (\text{FW})$ 。

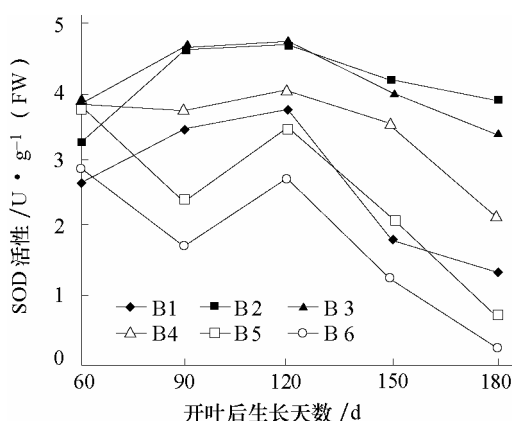


图 1 不同硼素浓度处理下魔芋 SOD 活性变化

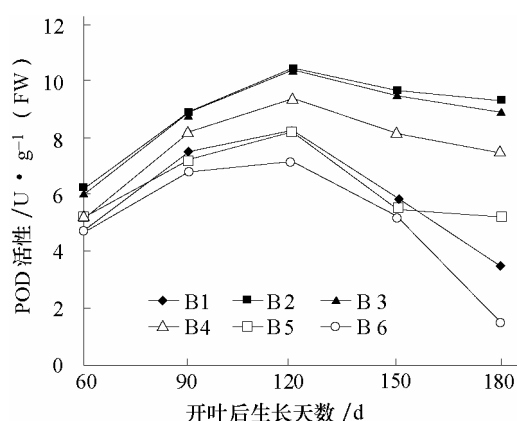


图 2 不同硼素浓度处理下魔芋 POD 活性变化

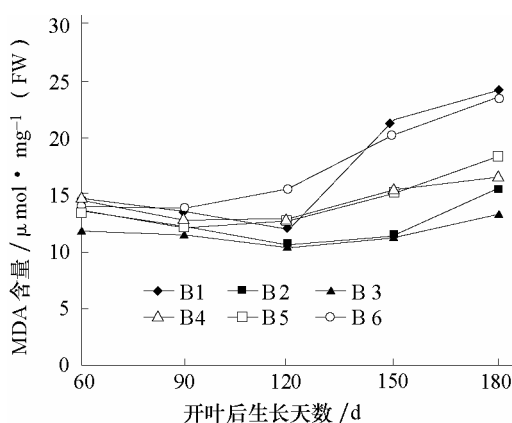


图 3 不同硼素浓度处理下魔芋 MDA 含量变化

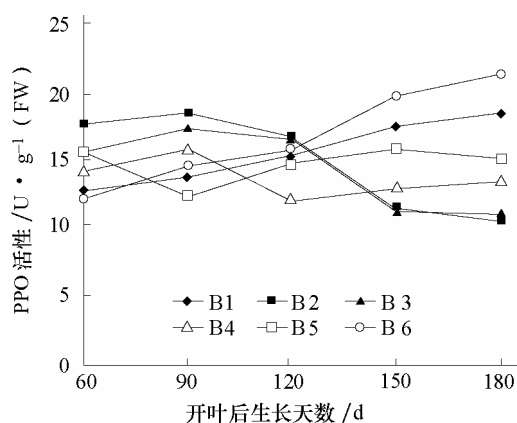


图 4 不同硼素浓度处理下魔芋 PPO 活性变化

3 结论与讨论

硼素对植物体内碳水化合物的转化和运输是必不可少的, 它能促进体内碳水化合物的运输和代谢 (牛义 等, 2003; 石磊 等, 2007), 供硼充足时, 葡萄糖主要进入糖酵解途径进行代谢, 硼胁迫造成植株生长异常, 幼叶干物质含量显著下降, 葡萄糖则容易进入磷酸戊糖途径进行代谢形成酚类物质 (年夫照 等, 2008; 韦海忠 等, 2010), 造成 RNAase 活性明显增加, 使 RNA 分解加剧, 从而使 RNA、DNA 含量下降, 进而引起蛋白质合成受阻, 细胞内可溶性蛋白质含量急剧减少 (王震宇 等, 1995)。本试验结果表明, 可溶性糖、葡甘聚糖、淀粉、可溶性蛋白质含量的变化主要在“换头”期。魔芋在“换头”前, 养分来源靠母体营养物质的降解来提供生长所需, 这个时期对外界所提供的营养物质反应并不灵敏, 但是到了“换头”后期, 魔芋进入“自养”阶段, 母体的养分已经耗尽, 魔芋的生长和物质的积累进入旺期, 需要外界不断供给养分, 此时对外界的营养物质反应敏感, 因而在不同硼素浓度的条件下, 魔芋“换头”后期, 球茎内主要内含物发生显著变化。B2、B3 处理的葡甘聚糖、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质含量相对较高, B1 (缺硼)、B6 (高硼浓度) 处理的可溶性糖、葡甘聚糖、淀粉、可溶性蛋白质含量低, 而且 B2、B3 处理与其他处理差异显著。由于缺硼或高硼使魔芋光合能力下降, 叶片的糖

类向下运输受到阻碍, 光合产物运输不出去, 最后导致魔芋球茎中的可溶性糖、葡甘聚糖含量减少。这说明适宜的硼素浓度 ($0.25 \sim 0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 可提高白魔芋的可溶性糖和葡甘聚糖含量, 这与孟凡华等 (1995)、付其如和何纪荣 (1995)、年夫照等 (2008) 对甜菜、甘蔗、甘蓝型油菜的研究结果相一致。可见, 合理施用硼素营养对于发挥魔芋品质潜力是必要的。

植物在环境胁迫的条件下, 内源保护系统的抗胁迫能力及生物膜的稳定性是决定植物对逆境胁迫响应特征的关键因素。PPO 是多酚氧化酶, 可将酚类化合物氧化成毒性很高的醌, 醌类物质虽然可与蛋白质形成共价键, 对缓解外界病虫害的为害有一定的作用, 但其本身会使植物产生毒性氧, 使植物受到伤害 (胡瑞波和田纪春, 2004), 而魔芋球茎是很容易褐变的, 在褐变过程中 PPO 活性的高低可直接反映褐变的程度。本试验中, 细胞内膜系统的保护酶类活性在魔芋生长 $90 \sim 180 \text{ d}$ 期间, 各个处理间有明显的差异。在 $120 \sim 180 \text{ d}$ 期间, 相同处理下, 随着时间的延长, POD、SOD 的活性逐渐降低, MDA 含量增加, 这与在普通白菜和青花菜上的研究结果相一致 (熊汉锋 等, 1994; 杨暹 等, 2000; 祁寒 等, 2009)。适宜的硼素浓度 ($0.25 \sim 0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 可增加魔芋球茎的 POD、SOD 活性, 降低 PPO 活性, 低于或高于此浓度范围, POD、SOD 活性有降低的趋势, 而 PPO 活性增强, 推测可能是与生物膜的完整性、活性和代谢作用有关。适宜的硼素浓度能有效地抑制生物氧自由基对生物膜的破坏作用, 维护生物膜的稳定性与透性, 促进细胞保护酶活性提高, 降低其脂质过氧化作用, 促进植株的光合作用与正常的能量代谢, 从而提高魔芋的品质, 增加魔芋产量。因此在魔芋的生长过程中, 特别是在“换头”期应合理施用硼肥, 以促进魔芋的正常生长。

参考文献

- 付其如, 何纪荣. 1995. 微量元素硼对葡萄生长发育的影响. 四川师范学院学报, 6 (4): 294-298.
- 胡瑞波, 田纪春. 2004. 小麦多酚氧化酶研究进展. 麦类作物学报, 24 (1): 81-85.
- 贾景丽, 周芳, 赵娜, 刘兆才, 黄瑞冬. 2009. 硼对马铃薯生长发育及产量品质的影响. 湖北农业科学, 48 (5): 1081-1083.
- 李合生. 2001. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 164-206.
- 李军, 李祥东, 张殿军. 2002. 硼钼营养对马铃薯鲜薯产量及活性氧代谢的影响. 中国马铃薯, 16 (1): 10-13.
- 李淑仪, 廖新荣, 蓝佩玲, 王荣萍. 2010. 珠江三角洲菜园土硼和钼测土施肥技术指标研究. 中国蔬菜, (18): 69-75.
- 刘佩瑛. 2004. 魔芋学. 北京: 中国农业出版社: 107-108, 325-327.
- 孟凡华, 刘才, 李仲奎. 1995. 硼对甜菜生长发育及产量的影响. 土壤肥料, (3): 47.
- 牛义, 张盛林. 2003. 植物硼素营养研究的现状及展望. 中国农学通报, (2): 101-104.
- 年夫照, 胡承孝, 徐芳森, 吕芬, 石磊, 王运华. 2008. 硼对不同硼效率甘蓝型油菜叶片 6-磷酸葡萄糖脱氢酶活性和可溶性糖含量的影响. 云南农业大学学报, 23 (1): 47-51.
- 祁寒, 习金根, 臧小平, 李绍鹏, 孙光明. 2009. 不同硼浓度对菠萝幼苗生长及酶活性的影响. 广东农业科学, (3): 65-68.
- 秦建成. 2009. 重庆市植烟区土壤硼素含量特征研究. 安徽农业科学, 37 (28): 13747-13749.
- 睢薇. 2004. 逆境生理学试验指导. 哈尔滨: 东北农业大学: 96-208.
- 石磊, 徐芳森. 2007. 植物硼营养研究的重要进展与展望. 植物学通报, 24 (6): 789-798.
- 师进霖, 纳玲洁, 马琼媛, 冯翠萍, 旦有明. 2007. 锰硼营养对黄瓜产量及抗氧化酶活性的影响. 中国生态农业学报, 15 (2): 44-46.
- 王晓云, 程炳篙. 1994. 锌与硼对莱菔生姜生长及产量的影响. 中国蔬菜, (1): 34-35.
- 王震宇, 沈康, 张福锁. 1995. 硼对油菜体内核酸代谢的影响. 植物生理学报, 21 (2): 189-194.
- 韦海忠, 徐杏林, 杜梦青. 2010. 不同浓度硼素对草莓生长、糖度和贮运性的影响. 浙江农业科学, (5): 964-967.
- 薛建明, 杨玉爱, 叶正钱. 1995. 硼对不同油菜生长发育及产量和品质的影响. 浙江农业大学学报, 21 (1): 66-71.
- 熊汉锋, 刘武定, 皮美美. 1994. 硼氮及其配合对油菜吸收氮及某些酶活性的影响. 华中农业大学学报, 13 (1): 46-50.
- 杨暹, 陈晓燕, 刘志才. 2000. 硼钼营养对青花菜花球产量及活性氧代谢的影响. 园艺学报, 27 (2): 112-116.
- 张薇, 高明, 宋珍霞, 李小宁. 2006. 重庆市植烟区土壤硼素状况及施硼效应的研究. 中国土壤与肥料, (5): 49-52.
- 张志华, 向鹏华, 方其春. 2010. 施硼对烤烟产量和品质的影响研究. 湖南农业科学, (5): 62-63, 66.